白马蝠蛾生殖习性的研究*

杨大荣 李朝达 沈发荣 杨跃雄 舒 畅
（中国科学院昆明动物研究所）

摘 要

本文首次报道了白马蝠蛾的生殖系统和生殖习性。白马蝠蛾雌性生殖系统与鳞翅目其他昆虫不同：无粘液腺器官；成虫产卵行为特殊，卵散产，产后有用尾和足扫土盖卵的习性；成虫交配授精以精包方式进行。交配除提供雌蛾精子外，还能刺激产卵。雌蛾生殖力强，生殖期短，产卵最多768粒，最少364粒，一生平均621粒，生殖期平均4.2天；成虫历期平均6.2天；卵平均历期48.5天（温度12.6℃）。最适宜成虫交配与产卵的温度为12.5—19.0℃，相对湿度75%—90%。

关键词：白马蝠蛾，生殖系统，生殖习性

白马蝠蛾*Hepialus baimaensis* Liang是云南产冬虫夏草的主要寄主昆虫之一，其生殖生物学的研究，目前未见报道，作者于1985至1989年对白马蝠蛾的生殖习性连续进行了五年的观察，现将结果报道如下：

材料和方法

1.**实验地点**：德钦县白马雪山生物研究基地。位置约为北纬28°25′，东经99°01′，海拔3950 m。

2.**实验工具**：养虫笼为32×32×40 cm、50×50×60 cm和100×100×100 cm木架结构，外蒙铁纱或尼龙纱，可移动，室内配有恒温培养箱。室外为1600×500×120 cm尼龙纱网围成的固定饲养棚。每个养虫笼、棚内都种植珠芽蓼，圆穗蓼和紫花小杜鹃等植物，土壤均为高山草甸土。

3.**虫源**：实验虫源前三年采自白马雪山137（海拔4400—4780m）处的预蛹和蛹，后两年采自基地养虫棚内刚羽化的成虫。

4.**试验方法**：将老熟蛹和刚羽化蛾子移入不同的观察笼内，雌雄按1:1，1:2，1:3，1:4，2:2，3:3，4:4，10:10比例放入笼内饲养观察，并记录成虫羽化、交配、产卵、

* 国家自然科学基金资助项目。
本工作得到本所赵万源副研究员指导，德钦县科委鲁自参加部份工作，特此致谢。
本文1990年1月16日收到，同年3月27日修回。

成虫死亡和卵孵化率、日期等数据。蛾子死亡后，立即解剖，检查体内余腹卵和交配授精情况。每个实验重复4次。在实验中详细记录室内外现场小气候。

结 果

一、生殖系统形态特征 （1）雄性生殖系统 白马蝠蛾雄性内生殖器官包括两条输精管、1对贮精囊、1条射精管、两条端部分叉的附腺和两个分叶状的睾丸（图1. 1—6）。外生殖器包括阳具、抱握器、抱握器钩、背兜、背兜钩和囊形突（图1. 7—12）。雄性内外生殖器官在蛹末期已发育完成。

（2）雌性生殖系统 雌性生殖器官包括总输卵管、1对侧输卵管、受精囊、生殖腔和交配囊。每条侧输卵管之上有4根卵巢管。（图2. 1—5）。缺少粘液器官。外生殖器包括交配囊孔和产卵孔等部份（图2. 6—7）。

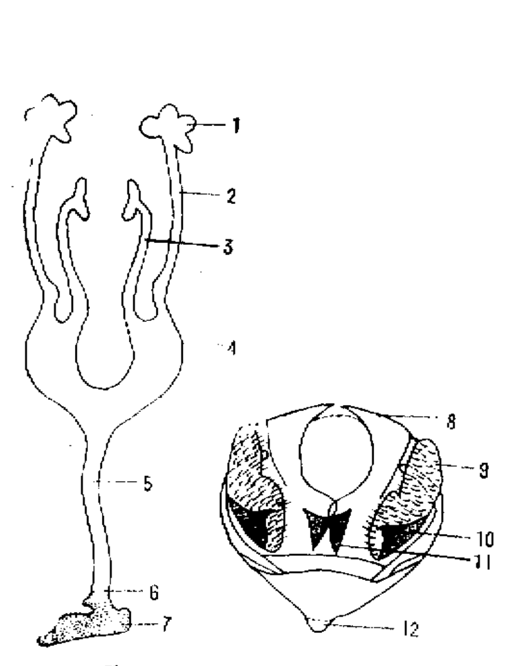


图1 白马蝠蛾雄性生殖系统

Fig. 1. Male reproductive system of *H. baimaensis*

1.睾丸 2.输精管 3.生殖附腺 4.贮精囊 5.精包腺 6.射精管 7.阳茎 8.背兜 9.抱握器 10.抱握器钩 11.背兜钩 12.囊形突。

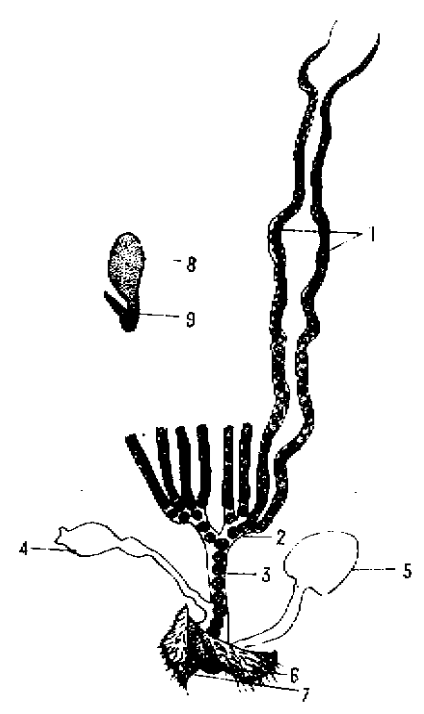


图2 白马蝠蛾雌性生殖系统

Fig. 2. Female reproductive system of *H. baimaensis*

1.卵巢 2.侧输卵管 3.总输卵管 4.受精囊 5.交配囊 6.交配孔 7.生殖孔 8.精包体 9.精包颈。

二、生殖习性 （1）成虫羽化与性成熟 在自然和半自然情况下，白马蝠蛾成虫于每年6月24日左右开始出现，7月12—18日为羽化高峰期，22日后明显下降，7月28日以后已鲜见成虫。一天中，成虫羽化时间在16：00—21：00之间，18：00—20：00时最

多，羽化盛期在19：00时左右；羽化时地表平均温度14.9°C，大气平均温8.8°C，相对湿度75%—86%，雨后天晴的傍晚羽化最盛。雌蛾一般比雄蛾先出蛹壳10—15分钟。雄蛾出壳展翅至完成展翅需6—15分钟，雌蛾需12—20分钟。雌雄性比1:0.86，平均羽化率为89.2%、(72.5%—95.0%)。

成虫在阳光直射时，潜伏于石块和杜鹃、珠芽蓼、圆穗蓼等植物阴暗背光处静止不动。下午18：00以后，在栖息地仅有散射光的情况下开始活动。雄虫飞翔迅速，雌虫体重笨重，只作短距离（2—3 m）边跳边飞活动。

（2）交配与授精　成虫羽化后0.5—2小时开始交配。交配前，雄蛾在低空快速飞行，寻找配偶，雌蛾则攀附于植株上，不断搧动双翅引诱雄蛾，当雄蛾找到雌蛾后，围绕雌蛾快速振翅转动，不时用触角触摸雌蛾的头和腹部，此时，雌蛾加紧搧动双翅，尾部左右甩动，并不时从生殖腔中排出白色分泌物，约3—20分钟，雄蛾转到雌蛾尾部，开始交配。交配时，雌蛾紧攀植株，雄蛾则悬空倒挂于下，与雌蛾成1字形，静止不动，当人为触动时，则由雌蛾拖着雄蛾移动。成虫在16:30—23:00时交配，高峰期为18:30—21:30时，占交配总数的68.3%；21:30—22:30时和16:30—18:30时分别占18.7%和13.0%；23:00时后16:30以前未见交配、交配时间平均为48分钟，最短为18分钟，最长达270分钟。交配结束，雄虫主动离去。据5年的观察结果表明，雌雄蛾一般交配一次，但偶尔有极少数雌蛾（一般为交配时间短的蛾子）可与未交配过的雄蛾行第二次交配，第一次与第二次交配间隔约40—60分钟。未交配的雌蛾在傍晚分泌性激素引诱雄蛾。常可观察到距雄蛾较远距离（50—100 m）的未配雌蛾搧动双翅和摇动腹部，此时会有多只雄蛾从不同距离外飞向雌蛾。

白马蝠蛾在交配时，雄蛾把含有精液的性分泌物注到雌蛾交配囊内，形成1个带短柄的椭圆形精包体（图2. 8—9）。

（3）产卵行为　雌蛾交配后约20—40分钟开始产卵。卵散产，这与雌蛾内生殖系统缺少粘液腺器官密切相关。产卵时，雌蛾攀附于距地面2—5 cm植株上，双翅不停地抖动，尾部左右摇摆，将卵一粒粒喷射在腐植土表，每次可排卵4—46粒不等。产卵间隙，雌蛾作近距离(0.2—1.0 m)飞翔或跳动到另一地产卵。雌蛾产卵一般为傍晚19:00—24:00时，其他时间则罕见产卵。雌蛾产完卵后，常有爬在土表用尾和足扫土盖卵的习性。

白马蝠蛾生殖力强，平均产卵为621粒，最多为768粒，最少364粒。交配活动能明显地刺激和促进排卵功能。交配后的雌蛾产卵占总怀卵的83.6%；虽未交配雌蛾也能产卵，但产卵量显著下降，仅占怀卵量的31.5%（表1）。

白马蝠蛾产卵时间短，平均为4.2天（2—7天）。产卵高峰为羽化的当天晚上，可产卵4—8次，其产卵量占雌蛾一生总产卵数的54.8%。其后直线下降，羽化后第2、第3天产卵量分别占12.2%和4.3%，第4天至死亡仅占产卵量的2.1%（表2）。成虫寿命短，雌蛾平均6.2天（3—8天），雄虫5.8天（4—7天）。

（4）气候因子与交配和产卵的关系　白马蝠蛾分布在海拔3800 m以上的高寒草甸地区。由于海拔高、气温低、温度日变化幅度大，使其适应了低温的生活环境，所以气候因子对蛾子交配和产卵的影响十分明显。当温度达5—8°C时，蛾开始产卵，但不交配；当温度达8.5—12.0°C时，产卵蛾增加，并出现部份蛾正常交配；12.5—20.0°C，

交配产卵最活跃，最适交配温度是14—19°C，最适产卵温度是12.5—16°C。当温度高于22°C时，成虫一般不交配，产卵量显著降低；当温度高达24—26°C时，蛾子出现激烈振翅和跳跃的燥灼不安状态，8个小时后大量死亡。最适交配与产卵的大气相对湿度75%—90%。在室内饲养条件下，16—18°C、相对湿度78%时最适于交配产卵（表3）。

表1 白马蝠蛾的交配率与产卵量

Table 1. Relation between the rate of mating and oviposition of *H. baimaensis*

组 别	观察组数	怀卵量（粒）		产卵数（粒）		产卵率（%）	
		怀卵量(粒)	平均	产卵数(粒)	平均		
交配组	42	713—886	814.4	414—769	681.0	83.6	16.4
未交配组	28	728—881	820.5	82—365	258.5	31.5	68.5

表2 白马蝠蛾不同时期的产卵量

Table 2. The amount of oviposition of *H. baimaensis* in different time

虫 号	羽化后逐日产卵数（粒/天）								怀卵量	产卵率	生殖期	寿命(天)	
	羽化当天	1日	2日	3日	4日	5日	6日	总数	(粒)	(%)	(天)	雌	雄
1	421	136	22	6	0	0	0	585	745	78.5	4	6	4
2	495	179	44	21	0	5	8	752	884	85.1	6	7	6
3	289	245	106	41	10	7	0	707	879	80.4	6	7	7
4	540	88	27	29	22	0	0	706	851	83.0	5	7	6
5	287	202	109	84	44	18	4	748	886	84.4	7	8	2
6	304	263	36	0	0	0	0	603	740	81.5	3	4	5
7	367	208	148	0	0	0	0	723	881	82.1	3	7	7
8	205	208	241	45	0	0	0	699	886	78.9	4	5	7
9	285	196	109	73	15	0	2	680	846	80.4	6	7	5
10	436	81	0	0	0	0	0	517	793	65.2	2	3	6
11	370	241	36	28	12	8	8	703	837	84.0	7	8	6
12	430	138	80	24	6	4	0	682	795	85.8	6	7	7
总 数	4438	2185	958	351	109	42	22	8105	10023				
逐日产卵率(%)	54.8	27.0	12.2	4.3	1.3	0.5	0.3						

表3 不同温湿度下白马蝠蛾的寿命，交配率和产卵率

Table 3. The rate of mating and oviposition, life of *H. baimaensis* in diffenent temperatune and humidity

温 度(°C)		6	10	12	14	16	18	20	22	24
相对湿度(%)		78	78	78	78	78	78	78	78	78
试验蛾数(对)		50	50	50	50	50	50	50	50	50
交 配 率(%)		0	18	34	88	96	92	12	0	0
产 卵 率(%)		2	26	46	72	98	98	54	24	0
成虫寿命(天)	最长	8	8	8	8	8	7	5	2	0.8
	最短	5	4.5	5	4.5	3	2	2	0.5	0.2
	平均	6.8	6.5	6.6	6.5	6.5	5.8	3.4	1.8	0.4

三、**卵的发育速率**　卵在蛹后期就完全形成粒状，大部份卵已发育成熟。刚产下的卵乳白色，受精卵产后1—2小时开始变色，变色范围与时间为：乳白色→（1—2小时）乳黄色→（2小时）淡褐色→（4小时）褐色→（1小时）黑色。未受精卵也能变色，但变色缓慢，一般为：乳白色→（8—12小时）乳黄色→（8—15小时）褐色→（12—14小时）黑色。不成熟卵不变颜色。未受精卵不能孵化。

卵的孵化与小气候关系密切。当大气温度月平均5.8°C（-1.2—15.6°C）、地表月平均温12.6°C（-1.0—38°C）、相对湿度86%(58—92%)、土壤含水量46.8%(31.5%—54.0%）时，卵的孵化率最高。在半人工饲养条件下，卵于每年8月18日前后开始孵化，8月25日孵化量上升，孵化高峰在8月29日—9月8日之间，约占全年孵化总数的57%—85%。9月12日后，孵化率明显下降，9月20日后，在海拔3950 m以上地区已鲜见孵化。在孵化期的一天中，卵在8:00时左右开始孵化，9:00—12:00时为孵化高峰时间，13:00时后减少，21:00时至翌日7:00时未见有卵孵化。在半人工饲养下的白马蝠蛾卵，月地表温12.6°C时，经历48.5天（41.0—54.0天）；孵化率达88.5%（49.0%—98.0%）。

讨　论

白马蝠蛾雌性生殖器官与多数鳞翅目昆虫有明显的差异，缺少粘液腺器官，鳞翅目昆虫粘液腺器官的功能是分泌粘性物质，供产卵时将卵粘成团块或者粘附于栖息地的物体上。白马蝠蛾的卵散产与该虫无粘液腺器官密切相关。

陈泰鲁等（1973）认为，虫草蝠蛾未受精卵不变颜色。我们经过多年观察结果与其不尽相同，结果为：雌蛾除临死前产下的极少数（1—5粒）未完全成熟卵不变色外，其它卵均会变色。不同点仅是受精卵变色快，6—8小时即变为黑色，而未受精卵变色慢，24—40小时左右才能变为黑色。

白马蝠蛾成虫期不取食，为不需营养型，其主要活动是交配授精，产卵繁殖后代，该结果和郭郛（1979）论述的家蚕蛾为同一类型。

白马蝠蛾交配活动对生殖力的影响显著，这一结果与赵万源（1981）研究粘虫生殖的结果有相似之处，不同的是白马蝠蛾不需补充营养，卵在蛹后期已成熟，精液不被成虫吸收，其作用为授精和促进排卵。刺激产卵的机制，尚有待深入研究。

参 考 文 献

赵万源　1981　粘虫精液在雌体生殖系统中的分布转移及其作用。昆虫学报　24(2):135—141。

赵万源，杨大荣等　1989　玉龙蝠蛾的生殖观察。昆虫学报　32(3):382—384。

陈泰鲁等　1973　虫草蝙蝠蛾 *Hepialus armoricanus* Oberthur 生物学的初步研究。昆虫学报　16(2):198—202。

郭郛　1979　昆虫生殖的一些基本知识（下）昆虫知识　16(4):166—171。

Shepherd, J. G. 1974 Activation of Saturniid sperm by a secretion of the male reproductive tract. *J. Ins. Physiol.* 20(11):2107—2122.

STUDIES ON THE REPRODUCTIVE BEHAVIOR OF *Hepialus baimaensis* LIANG

Yang Darong Li Chaoda Shen Farong Yang Yaoxiong Shu Chang
(Kunming Institute of Zoology, Academia Sinica)

In this paper, the author reports the reproductive system and reproductive behavior of *Hepialus baimaensis* Liang. The results may be summarized as follows: The female reproductive system of the *H. baimaensis* is distinctly different from that of the other Lepidoptera insects. It has not the collcterial gland. The male inseminnates the female by the form of the spermatophore which contains sperms as the other Lepidoptera does. These are formed by accessory glands secretion, namely the spermatophore gland, accessory glands and the seminal vesicle. The copulation not only provides the sperms but also promotes oviposition. The parthenogenetic female could lay eggs, but none of the parthenogenetic eggs could behatched, and the number of eggs was obviously decreased. The female reproductive capacity is quite strong. The total number of eggs laid by each female *H. baimaensis* varies between 364—786. The period of reproduction was short, only 3 — 7 days. The imago needs 6.2 days for life cycle. The duration of eggs is about 48.5 days (12.6°C). The most suitable temperature and relative humidity for mating and oviposition are 12.5—19.0°C and 75%—90% respectively.

Key words: *Hepialus baimaensis,* Reproductive system, Reproductive behavior